



TUGAS AKHIR - TM145502

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING YANG DIKUTI PROSES PEENING TERHADAP LAJU KOROSI BAJA SM490 DALAM MEDIA HCI 1M

Elmo Nugraha Bhakti
NRP. 102115000063

Dosen Pembimbing
Ir. Nur Husodo, MSc
19610421 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TM145502

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
TEMPERING YANG DIKUTI PROSES PEENING
TERHADAP LAJU KOROSI BAJA SM490
DALAM MEDIA HCI 1M**

Elmo Nugraha Bhakti
NRP. 1021150000063

Dosen Pembimbing
Ir. Nur Husodo, MSc
19610421 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TM145502

THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION FOLLOWED IN PEENING PROCESS TO CORROSION RATE ON SM490 STEEL IN HCl 1M SOLUTION MEDIA

Elmo Nugraha Bhakti
NRP. 1021150000063

Advisor
Ir. Nur Husodo, MSc
19610421 198701 1 001

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Vocational
Institute Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING YANG DIKUTI PROSES PEENING TERHADAP LAJU KOROSI BAJA SM490 DALAM MEDIA HCI 1M

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Sudi Manufaktur
Program Studi Depatemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ELMO NUGRAHA BHAKTI

NRP.10211500000063

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. Nur Husodo, MSc
NIP. 19610421 198701 1 001

Surabaya, 1 Agustus 2018

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING YANG DIKUTI PROSES PEENING TERHADAP LAJU KOROSI BAJA SM490 DALAM MEDIA HCl 1M

Nama Mahasiswa : Elmo Nugraha Bhakti
NRP : 1021500000063
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Nur Husodo, MSc

Abstrak

Baja SM490 adalah salah satu jenis baja yang digunakan dalam pembuatan underframe kereta api. Dalam pembuatan underframe kereta api baja yang digunakan disambung dengan menggunakan las. Pengelasan ini membuat baja memiliki tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara reforming / forging. Proses reforming ini diharapkan tidak merubah sifat mekanik material secara signifikan dimana selanjutnya untuk mengetahui berapa nilai temperatur tempering yang sesuai agar laju korosi dapat berkurang dengan signifikan.

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah baja SM490 dalam larutan HCl 1M sebagai media korosif. Jenis pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Electrochemical Impedance Spectroscopy*, *Potentiodynamic Polarization*, dan *Weight Loss*.

Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan laju korosi pada baja SM490 dalam larutan HCl 1M ketika temperatur tempering meningkat. Pada pengujian polarisasi potensiodinamik laju korosi terendah didapat pada *sample* temperatur 800°C media pendingin air sebesar 2.0836 mm/year. Sehingga didapat efisiensi tertinggi pada *sample* temperatur 800°C media pendingin air sebesar 78.6416%. Ini merupakan efisiensi tertinggi dari semua variabel temperature tempering.

Kata Kunci: SM490, reforming, laju korosi, HCL 1M

Halaman ini sengaja dikosongkan

**THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION FOLLOWED
IN PEENING PROCESS TO CORROSION RATE ON SM490
STEEL IN HCl 1M SOLUTION MEDIA**

Student Name : Elmo Nugraha Bhakti
Student ID : 10211500000063
Department : Industrial Mechanical Engineering
Counselour Lecturer : Ir. Nur Husodo, MSc

Abstract

SM490 steel is one type of steel that used in the manufacture of train underframes. In the fabrication of the train underframe, deformation often occur right after the welding process is done. In order to recover the part that deformation, the deformed part should be reformed. This reforming process is expected not to change the mechanical properties of the material significantly furthermore, in order to know the value of needed tempering temperature so that can decrease the corrosion rate significantly.

This study using material is SM490 steel in 1M HCl solution as corrosive medium. The type of testing method that used in this study is Electrochemical Impedance Spectroscopy, Potentiodynamic Polarization, and Weight Loss

The test results showed a decrease in corrosion rate in SM490 steel in 1M HCl solution when tempering temperature increased. In potentiodynamic polarization testing, the lowest corrosion rate of a sample with tempering temperature 800⁰C with cooling media water was 2.0836 mm/year. While the the highest efficieny of a sample with tempering temperature 800⁰C with cooling media water was 78.6416% efficieny. That was the highest efficiency among all of the tempering temperature variable.

Keywords: SM490, reforming, corrosion rate, HCL 1M

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur *Tempering* Yang Diikuti Proses *Peening* Terhadap Laju Korosi Baja SM490 Yang Digunakan Pada *Underframe* Kereta Api Dalam Media HCl 1M”.

Tugas akhir ini merupakan bagian dari kurikulum dan syarat kelulusan untuk jenjang diploma pada Program Studi Teknik Mesin Industri ITS, yang harus ditempuh oleh mahasiswa. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengaplikasikan dan mengembangkan pengetahuan yang didapatkan selama perkuliahan. Penulisan laporan tugas akhir ini didasarkan pada penelitian di laboratorium serta didukung oleh teori, literatur, dan bimbingan dosen yang ada di Program Studi Teknik Mesin Industri ITS.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari semua dukungan dan bantuan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan memberi dukungan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini antara lain :

1. Bapak Ir. Nur Husodo, MSc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing penulis sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri - ITS.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku koordinator tugas akhir dan ketua Program Studi D3 Teknik Mesin Industri.
4. Bapak Dedy Zulhidayat N, ST, MT, PhD selaku dosen wali penulis
5. Bapak Ir. Eddy Widiyono, MSc selaku Kepala Lab.Metallurgy.

6. Tim Dosen Penguji yang telah memberikan saran kepada penulis.
7. Seluruh dosen Departemen Teknik Mesin Industri yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.
8. Bapak Lukman Noerochim, M.Sc. Eng selaku Kepala Lab.Korosi Jurusan S1 Teknik Material – ITS.
9. Kedua orang tua penulis yang tercinta atas segala dukungan dan doa sehingga penulis bisa melanjutkan studi di Teknik Mesin Industri - ITS.
10. Diajeng Elsa Pameilia, yang telah membantu dan memberikan semangat dalam pengerjaan Tugas Akhir.
11. Pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala bantuannya sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Terlepas dari itu semua, penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat sebagai wacana bagi mahasiswa Teknik Mesin Industri - ITS.

Surabaya, 1 Agustus 2018

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Baja	8
2.2.1 Baja Karbon	9
2.2.2 Diagram Fe-Fe ₃ C.....	11
2.3 Pengertian dan Mekanisme Korosi.....	15
2.3.1 Mekanisme Korosi	15
2.3.2 Korosi Pada Asam Klorida (HCl)	19
2.4 Jenis-Jenis Korosi pada Lingkungan Industri Kereta Api....,	19
2.4.1 Crevice Corrosion	19
2.4.2 Stress Corrosion Cracking	20
2.4.3 Galvanic Corrosion	21
2.4.4 Erosion-Corrosional Fretting	22
2.5 Faktor Penyebab Korosi	22
2.5.1 Faktor yang Mempercepat Korosi	23
2.6 Pengujian Korosi	25

2.6.1	Polarisasi Potensiodinamik.....	25
2.6.2	Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	27
2.6.3	Weight Loss.....	
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir.....	31
3.2	Metode Penelitian.....	32
3.3	Alat Penelitian.....	33
3.4	Bahan Penelitian.....	33
3.5	Prosedur Penelitian.....	34
3.5.1	Persiapan Benda Kerja.....	34
3.5.2	Persiapan Larutan Korosif.....	36
3.6	Pengujian.....	36
3.6.1	Pengurangan Berat (<i>Weight Loss</i>).....	37
3.6.2	Electrochemical Impedance Spectroscopy.....	38
3.6.4	Potentiodynamic Polarization.....	39
BAB IV HASIL DAN ANALISA		
4.1	Hasil Larutan Elektrolit.....	41
4.2	Hasil Penelitian.....	42
4.2.1	Hasil Pengujian Polarisasi Potensiodinamik.....	42
4.2.2	Hasil Pengujian EIS.....	46
4.2.3	Hasil Pengujian <i>Weight Loss</i>	50
4.3	Pembahasan.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
BIOGRAFI PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Fe-Fe ₃ C.....	12
Gambar 2.2	Mekanisme Korosi.....	16
Gambar 2.3	Korosi Celah.....	20
Gambar 2.4	Korosi Akibat Tegangan.....	21
Gambar 2.5	Korosi Galvanis.....	22
Gambar 2.6	Korosi Akibat Erosi.....	22
Gambar 2.7	Kurva Polarisasi pada Korosi Baja.....	26
Gambar 2.8	Kurva Nyquist Z.....	28
Gambar 2.9	Equivalent Circuit.....	28
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2	Baja SM490.....	34
Gambar 3.3	Benda Kerja Pengujian EIS dan Polarisasi.....	35
Gambar 3.4	Permukaan Benda Kerja EIS dan Polarisasi.....	35
Gambar 3.5	HCl.....	36
Gambar 3.6	Pengujian Weight Loss.....	37
Gambar 3.7	Proses Pengujian EIS dan Polarisasi.....	39
Gambar 3.8	Alat Pengujian EIS dan Polarisasi.....	39
Gambar 4.1	Larutan Elektrolit HCl 1M 1L.....	41
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Polarisasi.....	46
Gambar 4.3	Grafik Nyquist Tiap Sample.....	47
Gambar 4.4	Equivalent Circuit.....	48
Gambar 4.5	Grafik Laju Korosi Weight Loss.....	52

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Uji Kekerasan Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	5
Tabel 2.2	Hasil Uji Impact Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	6
Tabel 2.3	Hasil Uji Metalografi Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	6
Tabel 2.4	Hasil Uji Kekerasan Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	7
Tabel 2.5	Hasil Uji Impact Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	7
Tabel 2.6	Hasil Uji Metalografi Tempering Menggunakan Media Pendingin Air.....	8
Tabel 2.7	Konstanta Laju Korosi.....	29
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja SM490 Setelah Uji OES.....	33
Tabel 4.1	Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada Baja SM 490.....	43
Tabel 4.2	Tabel Kurva Tafel (Potentiodynamic Testing).....	44
Tabel 4.3	Hasil Equivalent Circuit Nilai Impedansi.....	49
Tabel 4.4	Efisiensi <i>Weight Loss</i>	51

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam hal pembuatan setiap bagian kereta tentu saja bahan-bahan dalam merakit kereta api tidak lepas dari penggunaan material baja. Salah satu bagian kereta yang belum bisa tergantikan oleh baja yaitu *underframe*. Bagian ini juga memiliki berbagai spesifikasi, salah satunya ialah baja SM490. Baja ini dipilih karena memiliki kekuatan yang tinggi.

Underframe merupakan penyangga gerbong yang digunakan dalam setiap jenis kereta. Agar bisa menyatu dengan bagian-bagian lainnya, baja ini di sambung dengan proses las. Pengelasan ini membuat baja mempunyai tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi selain itu pengelasan dapat mengakibatkan adanya reaksi oksidasi, dimana oksidasi sendiri merupakan salah satu penyebab terjadinya korosi.. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara *reforming* / *forging*. *Reforming* ini hanya bertujuan untuk merubah bentuk material yang mengalami deformasi, tanpa merubah sifat mekanik material.

Korosi dapat didefinisikan sebagai reaksi dari suatu material dengan lingkungannya dimana konsekuensinya adalah menyebabkan kerusakan pada material penyusunnya. Kerugian akibat korosi menimbulkan dampak bagi industri dan konstruksi baik pada sisi ekonomi dan keamanan. Korosi tidak dapat dicegah tetapi lajunya dapat dikurangi.

Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini akan dilakukan analisa pada baja SM490 untuk mengetahui pengaruh *reforming* terhadap laju korosi. Pada penelitian kali ini pengujian korosi tanpa inhibitor akan dilakukan pada baja SM490 dengan media pengkorosi HCl 1M. Pengujian yang dilakukan kali ini adalah

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS), *Potentiodynamic Polarization* (PDP), dan *Weight Loss*. Analisa dilakukan untuk menguji pengaruh *tempering* dengan variabel temperatur 400°C, 600°C, dan 800°C dengan media pendingin *water* dan *saltwater* terhadap laju korosi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana mekanisme pengkorosian non inhibitor pada baja SM490 dalam media HCl 1M?
2. Bagaimana perbandingan laju korosi pada baja SM490 yang telah mengalami *tempering* dengan variabel temperatur 400°C, 600°C, dan 800°C dan juga variabel media pendingin *water* dan *saltwater* dalam media HCl 1M?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah, maka diperlukan adanya batasan masalah dari penelitian yang dilakukan, antara lain :

1. Benda kerja yang terbuat dari baja SM490 dianggap bersifat homogen.
2. Temperatur *tempering* spesimen yang digunakan adalah 400°C, 600°C, dan 800°C dengan media pendingin *water* dan *saltwater*.
3. Tingkat kekasaran permukaan tiap benda kerja dianggap sama.
4. Tidak ada perubahan pada temperatur, tekanan, volume larutan, dan pH larutan selama dilakukan pengujian.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisa mekanisme pengkorosian non inhibitor pada baja SM490 dalam media HCl 1M.
2. Mengetahui perbandingan laju korosi pada baja SM490 yang telah mengalami tempering dengan variabel temperatur 400°C, 600°C, dan 800°C dan juga variabel media pendingin *water* dan *saltwater*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Memanfaatkan perlakuan *tempering* dengan menggunakan variabel temperatur dan media pendingin yang paling sesuai agar dihasilkan dampak laju korosi yang paling lambat.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penelitian yang digunakan dalam menyusun Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

ABSTRAK

BAB I :Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan manfaat peniltian.

BAB II :Berisi tentang dasar teori yang digunakan dalam melakukan penelitian.

BAB III :Berisi tentang metodologi penilitian yang mencakup standard bahan, alat, dan pengujian.

BAB IV :Berisi tentang hasil dan analisa berdasarkan data yang telah dikumpulkan setelah melakukan pengujian.

BAB V :Berisi tentang kesimpulan dari peneltian yang telah dilakukan dan juga saran agar penelitian selanjutnya bisa lebih dikembangkan.

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan dua penelitian sebelumnya mengenai pengaruh variasi temperatur tempering yang diikuti proses peening terhadap sifat mekanik dan struktur mikro Baja SM490 yang digunakan pada underframe kereta api maka hasil pengujian dari penelitian tersebut dapat dilihat pada sub bab dibawah ini

Ghifari Akmal Salsabila telah melakukan pengujian terhadap Baja SM490 yang telah diberikan *treatment* hardening 900°C kemudian dilakukan tempering dengan variasi temperatur 400°C, 600°C, 800°C dengan media pendingin air serta diikuti dengan proses *peening*. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

a. Uji Kekerasan

Tabel 2.1 Hasil Uji Kekerasan Tempering Menggunakan Media Pendingin Air

(Sumber : Ghiffari Akmal Salsabila 2017, hal.56)

Suhu	Nilai kekerasan (HRB)	Rata-Rata (HRB)
400	97	96,7
	97	
	96	
600	94	95,6
	96	
	97	
800	92	93,6
	93,5	
	95,5	

b. Uji Impact

Tabel 2.2 Hasil Uji Impact Tempering Menggunakan Media Pendingin Air

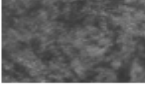


(Sumber : Ghiffari Akmal Salsabila 2017, hal.54)

Suhu (°C)	Sudut β [°]	A [mm ²]	E [Joule]	IS [$\frac{joule}{mm^2}$]
400	41	70	120,166	1,717
600	19	64,5	135,242	2,096
800	43	70	118,316	1,690

c. Uji Metalografi

Tabel 2.3 Hasil Uji Metalografi Tempering Menggunakan Media Pendingin Air

(Sumber : Ghiffari Akmal Salsabila 2017, hal.57)

Suhu	Perlakuan	Gambar	Fasa%
400°C	Tempa		Martensite 28% Pearlite 46% Ferrite 26%
600°C	Tempa		Martensite 25% Pearlite 32% Ferrite 43%
800°C	Tempa		Martensit 20 % Pearlite 37% Ferrit 43%

Abduh Muhammad Fatih telah melakukan pengujian terhadap Baja SM490 yang telah diberikan *treatment* hardening 900°C kemudian dilakukan tempering dengan variasi temperatur 400°C, 600°C, 800°C dengan media pendingin air garam serta diikuti dengan proses *peening*. Berikut adalah hasil pengujian yang telah dilakukan :

a. Uji Kekerasan

Tabel 2.4 Hasil Uji Kekerasan Tempering Menggunakan Media Pendingin Air Garam

(Sumber : Abduh Muhammad Fatih 2017, hal.55)

Material	Temperatur	Titik	Nilai (HRB)	Rata-Rata Nilai (HRB)
Baja SM490	400°C	1	93	92.33
		2	91.5	
		3	92.5	
	600°C	1	90	89.83
		2	90.5	
		3	89	
	800°C	1	85.5	85.16
		2	85	
		3	85	

b. Uji Impact

Tabel 2.5 Hasil Uji Impact Tempering Menggunakan Media Pendingin Air Garam




(Sumber : Abduh Muhammad Fatih 2017, hal.59)

Temperatur	Sudut (β)	A (mm ²)	E (Joule)	IS (J/mm ²)
400°C	64°	70	95.163	1.354
600°C	18°	17.5	135.677	7.7529
800°C	63°	77	96.3964	1.2519

c. Uji Metalografi

Tabel 2.6 Hasil Uji Metalografi Tempering Menggunakan Media Pendingin Air

(Sumber : Abduh Muhammad Fatih 2017, hal.50)

Benda Uji	Temperatur	Hasil Uji Metalografi	Keterangan (%)
Baja SM490	400°C		Perlit = 42% Ferrit = 35% Martensit = 23%
	600°C		Perlit = 36% Ferrit = 43% Martensit = 21%
	800°C		Perlit = 32% Ferrit = 52% Martensit = 16%

2.2 Baja

Baja merupakan logam paduan dimana unsur besi (Fe) sebagai unsur dasar dan unsur karbon (C) sebagai paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,008% - 2%, untuk baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,008% - 0,8% berat maka disebut dengan baja Hypoeutektoid sedangkan yang memiliki kandungan karbon 0,8% - 2% berat disebut dengan baja Hypereutektoid. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur – unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja tersebut dan sulit untuk dihilangkan yaitu Mangan (Mn),

Silikon (Si), Chrom (Cr), Vanadium (V), Molibdenum (Mb) dan unsur lainnya.

Dalam hal aplikasi, baja merupakan bagian terpenting dalam kehidupan manusia dan dalam perkembangan teknologi yang sudah ada sampai saat ini baja memiliki peranan terpenting dalam mendukung hal tersebut. Dalam mendukung kehidupan manusia misalnya, alat – alat rumah tangga, perkantoran, perbengkelan dan alat – alat kosmetik yang biasa kita gunakan pasti akan bersentuhan dengan baja. Dan didalam mendukung perkembangan teknologi industri baja berperan dalam hal infrastruktur bangunan dan alat – alat berat yang digunakan. Selain itu baja juga mengalami perkembangan yang cukup signifikan, bahkan dalam hal perkembangan teknologi didunia kesehatan baja berperan dalam membantu pasien – pasien yang mengalami patah tulang guna membantu menyambungkan kembali tulang yang patah tersebut.

Kandungan karbon dalam baja akan menentukan sifat mekanik yang dimiliki oleh baja tersebut khususnya dalam hal kekerasan dan kuat tarik. Adapun sifat mekanik baja pada umumnya memiliki level kuat tarik menengah dengan nilai kuat tarik berkisar antara (200 – 300 MPa atau 30 – 40 ksi) serta dengan ketangguhan yang baik untuk menghasilkan kekuatan melebihi 1400 MPa (200 ksi) serta nilai fracture toughness sebesar 110 MPa [ASM international,2002].

2.2.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penamabahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), Fosfor

(P), Silikon (Si), Mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2 % hingga 2,14% dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur penguat dalam struktur baja.

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya. Menurut pendefinisian ASM *handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah presentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut :

1) Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kerangka kereta, bodi mobil, dan lain sebagainya.

2) Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan presentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang

lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya.

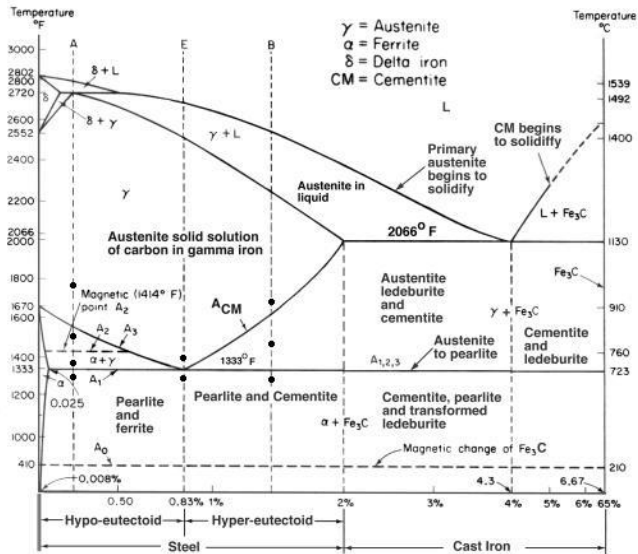
3) Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pembuatan kikir, pisau cukur, dan sebagainya.

2.2.2 Diagram Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (interstitial compound), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Diagram keseimbangan sistem paduan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian yang digunakan yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa

interstisialnya. Karbida besi Fe_3C yang mengandung 6,67% C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi-karbida besi, stau disebut dengan diagram Fe- Fe_3C .



Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe₃C

(Sumber : https://www.asminternational.org/news-/journal_content/56/10192/06508G/PUBLICATION)

Secara garis besar sistem paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (cast iron). Dari diagram tampak bahwa baja tidak mengandung struktur eutektik, karenanya itu mengapa sifatnya berbeda sekali dengan besi tuang (yang strukturnya eutektik). Nama/istilah yang terdapat pada diagram fase besi-karbida besi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Cementit adalah karbida besi Fe_3C , merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C. Sangat keras (± 650 BHN), getas dan kekuatan rendah (± 350 kg/cm²). Struktur Kristal orthorhombik.
- Austenite adalah larutan padat karbon dalam besi γ . Kekuatan tarik ± 1050 kg/cm², kekerasan 40 Rc, ketangguhan tinggi. Biasanya tidak stabil pada temperature kamar.
- Ledeburite adalah suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite, mengandung 4,3%C, berbentuk 1130°C.
- Ferrite adalah larutan padat karbon dalam besi α . Kelarutan karbon maksimum 0,025% (pada 723°C), dan hanya 0,008% di temperature kamar. Kekuatan rendah tetapi keuletan tinggi, kekerasan kurang dari 90 RB.
- Pearlite adalah suatu eutectoid mixture dari sementite dan ferrit, mengandung unsur karbon 0,8 %, terbentuk pada temperatur 723°C.
- Lower Critical Temperature (temperature kritis bawah) A_1 , temperature eutectoid. Pada diagram Fe – Fe_3C tampak berupa garis mendatar di temperature 723°C. Pada temperature ini terjadi reaksi eutectoid.
- Upper Critical temperature (temperatur kritis atas) A_3 , temperature awal terjadinya perubahan allotropic dari γ ke α (pada pendinginan) atau akhir perubahan allotropic dari α ke γ (pada pemanasan).
- Garis solvus A_{cm} merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Dengan menggunakan diagram keseimbangan memang mungkin dapat

diramalkan struktur yang akan terjadi pada suatu paduan (asalkan pada kondisi ekuilibrium atau yang dapat dianggap ekuilibrium), dengan demikian juga akan dapat diramalkan sifatnya.

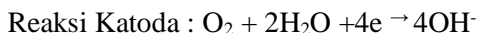
- 0,008%C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature kamar 0,025%C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature 723°C
- 0,83%C = Titik Eutectoid 2%C = Batas kelarutan Carbon pada besi Gamma pada temperature 1130 Derajat Celcius 4,3%C = Titik Eutectic 0,1%C = Batas kelarutan Carbon pada besi Delta pada temperature 1493 Derajat Celcius.
- Garis Liquidus ialah garis yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan). Garis Solidus ialah garis yang menunjukkan akhir dari proses pembekuan (pendinginan). Garis Solvus ialah garis yang menunjukkan batas antara fasa padat dengan fasa padat atau solid solution dengan solid solution. Garis Ac_m = garis kelarutan Carbon pada besi Gamma (Austenite) Garis A₃ = garis temperature dimana terjadi perubahan Ferrit menjadi Austenite (Gamma) pada pemanasan.
- Garis A₁ = garis temperature dimana terjadi perubahan Austenite (Gamma) menjadi Ferrit pada pendinginan. Garis A₀ = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Cementit. Garis A₂ = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Ferrite.

2.3 Pengertian dan Mekanisme Korosi

Korosi merupakan suatu kerusakan yang dihasilkan dari reaksi kimia antara sebuah logam paduan dalam suatu lingkungan (Jones, 1992). Hasil dari reaksi korosi ini menyebabkan suatu material atau logam akan mengalami perubahan (baik berupa fisik maupun kimia) yang sifatnya ke arah yang lebih rendah atau bisa dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Proses korosi ini merupakan suatu fenomena yang alami. Peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi (Pierre, 2008).

Proses korosi ini melibatkan dua reaksi simultan yakni oksidasi dan reduksi (redoks). Ketika spesimen logam murni ditempatkan pada medium cairan (elektrolit) yang tidak mengandung ion-ion spesimen, maka ion logam akan cenderung larut ke dalam medium dan permukaan logam yang hilang ionnya akan memulai proses redeposisi untuk mempertahankan sifat logam tersebut, transfer ion logam ke medium cairan disebut proses oksidasi (hilangnya elektron) dan redeposisi yang menyebabkan reduksi. Contoh dari reaksi oksidasi (anoda) pada logam di dalam asam menyebabkan disolusi logam sebagai ion elektron ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$), sedangkan reaksi reduksi terjadi pada permukaan katoda yang akan mengambil elektron bebas yang diproduksi oleh anoda dengan pengurangan ion hidrogen menjadi gas hidrogen ($2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$). Proses ini terus berlanjut sampai logam tersebut habis, kecuali logam itu dapat membentuk lapisan permukaan protektif, atau sampai reaktan katoda habis.

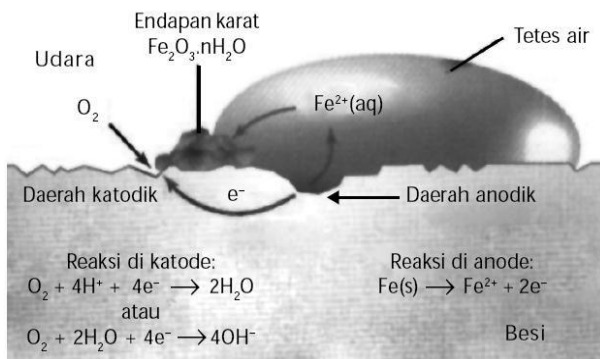
Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



2.3.1 Mekanisme Korosi

Secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang

teroksidasi dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂, akibat ion H⁺ dan H₂O yang tereduksi. Reaksi ini terjadi di permukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang-ulang (Nurdin dkk, 1998).



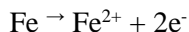
Gambar 2.2 Mekanisme Korosi

(Sumber : https://www.asminternational.org/news/-/journal_content/wearanderrosion_metalcorrosion)

Mekanisme terjadinya korosi membutuhkan beberapa komponen sebagai syarat terjadinya korosi, antar lain yaitu:

- Anoda

Anoda adalah bagian permukaan yang mengalami reaksi oksidasi atau terkorosi. Pada anoda ini logam terlarut dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Reaksi korosi suatu logam M dinyatakan dalam persamaan berikut:



- Katoda
Katoda adalah elektroda yang mengalami reaksi reduksi menggunakan elektron yang dilepaskan oleh anoda. Pada lingkungan air alam, proses yang sering terjadi adalah pelepasan H₂ dan reduksi O₂.
- Pelepasan H₂ dalam larutan asam dan netral
evolusi hidrogen / larutan asam:
$$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$$

Reduksi air / larutan netral / basa:
$$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$$
- Reduksi oksigen terlarut dalam larutan asam dan netral :
Reduksi oksigen / asam:
$$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$$

Reduksi oksigen / netral atau basa
$$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$$
- Reduksi ion logam yang lebih elektronegatif
$$\text{M}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{M}^{2+}$$
- Elektrolit
Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi, serta melengkapi rangkaian elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan arus listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan *elektroequivalen force* sehingga reaksi dapat berlangsung. Semakin banyak kandungan ion-ion dalam elektrolit maka semakin cepat elektrolit menghantarkan arus listrik. Elektrolit ini sendiri terdapat pada lingkungan dari suatu rangkaian elektrik. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah lingkungan air, atmosfer, gas, mineral *acid*, tanah, dan minyak.
- Hubungan arus listrik

Antara anoda dan katoda haruslah terdapat suatu hubungan atau kontak seperti listrik agar elektron dapat mengalir dari anoda menuju katoda.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu:

- a. Jenis logam dan struktur mikroskopis logam
 1. Semakin inert suatu logam, maka semakin tahan logam tersebut terhadap korosi.
 2. Tidak homogennya susunan dari logam, maka akan menimbulkan sel korosi pada logam itu sendiri.

- b. Komposisi dan konsentrasi larutan elektrolit

Larutan elektrolit adalah air yang mengandung anion dan kation (Piere R, 2008). Beberapa faktor yang mempengaruhi korosifitas suatu larutan antara lain:

1. Konduktivitas

Naiknya konduktivitas suatu larutan, maka daya hantar listrik larutan tersebut akan semakin baik, akibatnya laju korosi lebih cepat terjadi.

2. pH

Kenaikan laju korosi pada logam besi terjadi pada pH di bawah 4 dan di atas 12. Hal ini disebabkan karena lapisan pelindung pada besi tidak terbentuk.

3. Gas terlarut

Oksigen terlarut akan meningkatkan reaksi katoda sehingga logam akan semakin teroksidasi (terkorosi). Laju korosi dipengaruhi oleh bermacam-macam kondisi fisik yang terdapat dalam suatu gas terlarut, seperti:

- Temperatur

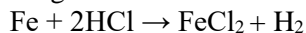
Temperatur yang tinggi akan mempengaruhi laju korosi. Pada sistem tertutup laju korosi

akan terus bertambah, sedangkan pada sistem terbuka kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan kelarutan gas O₂, dan akan menurunkan laju korosi pada titik tertentu.

- Tekanan
Kenaikan tekanan menyebabkan kenaikan gas terlarut dengan konsekuensi akan menaikkan laju korosi pada sistem.
- Kecepatan alir fluida
Adanya kecepatan alir fluida yang berbeda-beda akan menentukan jenis korosi yang dapat terjadi. Korosi yang sering ditimbulkan akibat faktor ini adalah korosi erosi.

2.3.2 Korosi Pada Asam Klorida (HCl)

Reaksi korosi yang terjadi pada asam klorida disederhanakan, karena pada setiap reaksi katodik adalah evolusi dari gas hydrogen. Semua reaksi korosi melibatkan pengurangan ion hydrogen dan hanya berbeda pada reaksi oksidasinya atau reaksi anodiknya. Reaksi yang terjadi selama proses korosi dalam media HCl adalah sebagai berikut



2.4 Jenis-Jenis Korosi pada Lingkungan Industri Kereta Api

2.4.1 Crevice Corrosion

Korosi celah (*crevice corrosion*) adalah korosi lokal yang terjadi pada celah di antara dua komponen. Mekanisme terjadinya korosi celah ini diawali dengan terjadi korosi merata di luar dan di dalam celah, sehingga terjadi oksidasi logam dan reduksi oksigen. Apabila oksigen (O₂) di dalam celah telah habis sedangkan oksigen(O₂) di luar celah masih banyak,

maka akibatnya permukaan logam yang berhubungan dengan bagian luar menjadi katode dan permukaan logam di dalam celah menjadi anode sehingga terbentuk celah yang terkorosi. Korosi ini tidak tampak dari luar dan sangat merusak konstruksi sering terjadi pada sambungan kurang kedap. Penyebabnya antara adalah adanya lubang, kotoran atau endapan. Korosi ini umumnya terjadi pada celah-celah sambungan seperti pada ulir.



Gambar 2.3 Korosi Celah

(Sumber : <https://www.accessengineeringlibrary.com/handbook-of-corrosion-engineering-second-edition>)

2.4.2 Stress Corrosion Cracking

Bentuk korosi dimana korosi terjadi akibat adanya tegangan akibat beban tarik pada suatu logam di lingkungan korosif. Hal ini sewaktu-waktu akan menyebabkan material tersebut akan terkena korosi pada satu titik yang menyebabkan *crack* yang menjalar dan diawali di bagian titik yang terkena korosi.



Gambar 2.4 Korosi Akibat Tegangan

(Sumber : <https://www.accessengineeringlibrary.com/handbook-of-corrosion-engineering-second-edition>)

2.4.3 Galvanic Corrosion

Korosi galvanik adalah korosi yang terjadi pada dua logam yang berbeda jenis jika di hubungkan. Korosi ini juga terjadi kontak atau secara listrik kedua logam yang berbeda potensial tersebut akan menimbulkan aliran elektron/listrik diantar kedua logam. Sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi. Logam yang lebih anodik akan terkorosi sementara logam lainnya yang lebih katodik akan terlindungi. Posisi logam pada deret volta akan menentukan apakah suatu logam lebih anodik atau katodik. Logam yang mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial lebih rendah dan logam yang tidak mengalami korosi adalah logam yang memiliki potensial yang lebih tinggi.



Gambar 2.5 Korosi Galvanis

(Sumber : <https://www.accessengineeringlibrary.com/handbook-of-corrosion-engineering-second-edition>)

2.4.4 Erosion-Corrosional Fretting

Merupakan bentuk korosi dimana korosi terjadi karena fluida korosif yang mengalir, baik fluida liquid (Erosion Corrosion) maupun vapor (Fretting Corrosion) dengan kecepatan tinggi. Karena kecepatan tinggi dari fluida korosif yang mengalir, lapisan proteksi korosif akan tererosi dan menghilang. Oleh sebab itu, kemungkinan terjadinya korosi semakin besar.



Gambar 2.6 Korosi Akibat Erosi

(Sumber : <https://www.accessengineeringlibrary.com/handbook-of-corrosion-engineering-second-edition>)

2.5 Faktor Penyebab Korosi

Dilihat dari reaksi yang terjadi pada korosi, air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya proses korosi.

Udara yang banyak mengandung uap air (lembab) akan mempercepat berlangsungnya proses korosi.

Udara yang banyak mengandung gas oksigen akan menyebabkan terjadinya korosi. Korosi pada permukaan logam merupakan proses yang mengandung reaksi redoks. Sebagai contoh, korosi besi terjadi apabila ada oksigen (O_2) dan air (H_2O). Oksigen dari udara yang larut dalam air akan tereduksi, sedangkan air sendiri berfungsi sebagai media tempat berlangsungnya reaksi redoks pada peristiwa korosi.

Jika jumlah O_2 dan H_2O yang mengalami kontak dengan permukaan logam semakin banyak, maka semakin cepat berlangsungnya korosi pada permukaan logam tersebut. Semakin banyak air dan oksigen maka akan semakin cepat terjadinya korosi

2.5.1 Faktor yang Mempercepat korosi

1. Larutan Elektrolit (asam atau garam)

Elektrolit merupakan media yang baik untuk melangsungkan transfer muatan. Hal itu mengakibatkan elektron lebih mudah untuk dapat diikat oleh oksigen di udara. Air hujan banyak mengandung asam, dan air laut banyak mengandung garam, maka air hujan dan air laut merupakan faktor yang dapat mempercepat korosi. Proses ini disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam dimana larutan garam lebih konduktif sehingga menyebabkan laju korosi juga akan lebih tinggi. Konsentrasi elektrolit yang besar dapat meningkatkan laju aliran elektron sehingga laju korosi meningkat.

2. Permukaan logam yang tidak rata

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang akhirnya akan berperan sebagai anode dan katode. Permukaan logam yang licin dan bersih akan menyebabkan

korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anode dan katode. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial dan memiliki kecenderungan untuk menjadi anode yang terkorosi. Korosi akan sangat cepat terjadi pada logam yang potensialnya rendah.

3. Pengaruh Logam lain

Bila dua logam yang berbeda potensial bersinggungan dan terjadi pada lingkungan berair atau lembap maka akan dapat terjadi sel elektrokimia secara langsung, sehingga logam yang potensialnya rendah akan segera melepas elektron (oksidasi) bila bersentuhan dengan logam yang potensialnya lebih tinggi dan akan mengalami oksidasi oleh oksigen dari udara. Jika dilihat dari deret sel volta, dari kiri ke kanan makin mudah mengalami reduksi, sedangkan dari kanan ke kiri makin mudah mengalami oksidasi. Adapun deret sel volta nya sebagai berikut:

Li, K, Ba, Ca, Na, Mg, Al, Mn, Zn, C, Fe, Cd, Ca, Ni, Sn, Pb, (H), Sb, Bi, Cu, Hg, Ag, Pt dan Au.

4. Bakteri

Tipe bakteri tertentu dapat mempercepat korosi, karena mereka akan menghasilkan karbon dioksida (CO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S), selama masa putaran hidupnya. CO_2 akan menurunkan pH secara berarti sehingga menaikkan kecepatan korosi.

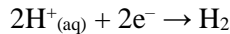
5. Temperatur

Temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi redoks pada peristiwa korosi. Secara umum, semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya korosi. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya temperatur maka meningkat pula energi kinetik partikel sehingga kemungkinan terjadinya

tumbukan efektif pada reaksi redoks semakin besar. Efek korosi yang disebabkan oleh pengaruh temperatur dapat dilihat pada perkakas-perkakas atau mesin-mesin yang dalam pemakaiannya menimbulkan panas akibat gesekan (seperti cutting tools) atau dikenai panas secara langsung (seperti mesin kendaraan bermotor).

6. pH

Peristiwa korosi dapat terjadi pada kondisi asam, yakni pada kondisi pH di bawah 7, karena adanya reaksi reduksi tambahan yang berlangsung pada katode yaitu:

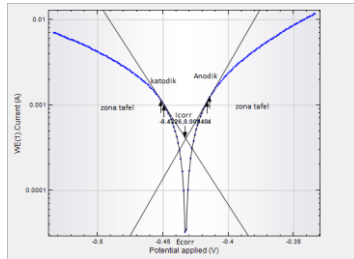


Adanya reaksi reduksi tambahan pada katode menyebabkan lebih banyak atom logam yang teroksidasi sehingga laju korosi pada permukaan logam semakin besar

2.6 Pengujian Korosi

2.6.1 Polarisasi Potensiodinamik

Metode polarisasi potensiodinamik adalah suatu metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan hubungan potensial dan arus anodik atau katodik, jika logam berada kontak dengan larutan yang bersifat korosif. Potensiostat digunakan untuk mengukur laju korosi berdasarkan perubahan potensial listrik terhadap perubahan arus yang dideteksi selama proses korosi pada saat pengukuran berlangsung menggunakan kurva ekstrapolasi tafel



Gambar 2.7 Kurva polarisasi pada korosi baja.

(Sumber : <https://www.documents/metode-polarisasi-untuk-mengukur-laju-korosi-point.html>)

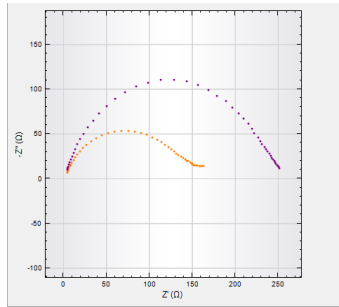
Kurva polarisasi yang dihasilkan dapat diukur potensial korosi dan arus korosi yang terjadi dengan bantuan metode ekstrapolasi Tafel. Terjadinya korosi pada baja lunak juga dapat diketahui dari polar kurva yang dihasilkan. Penerapan potensial dari luar yang melebihi potensial ini disebut potensial lebih (over potential). Peningkatan potensial lebih yang diterapkan tidak diikuti dengan peningkatan arus, maka pada potensial tersebut telah terjadi polarisasi seperti pada pola kurva yang terbentuk setelah zona Tafel (Fadli, 2011).

Pada awal pengujian terjadi kompetisi antara proses anodik dan katodik. Data tegangan dan arus yang langsung didapat dari pengujian yang diolah dengan Microsoft Excel. Setelah dibuat grafik antara arus dan over potential , maka diperoleh dua garis melengkung yaitu daerah anodik dan daerah katodik. Pada kedua daerah ini dibuat trendline untuk mengetahui persamaan garisnya. Trendline daerah anodik ditentukan pada daerah dimana arus turun tanpa naik lagi untuk selang over potential tertentu, sehingga Tafel slope positif. Sedangkan trendline daerah katodik ditentukan pada daerah dimana arus naik tanpa turun

lagi untuk selang over potential tertentu, sehingga Tafel slope negatif. Oleh karena laju oksidasi dan laju reduksi sama maka persamaan garis ini adalah ekivalen. Perpotongan garis terhadap sumbu X dinyatakan sebagai I_{corr} .

2.6.2 Electrochemical Impedance Spectroscopy

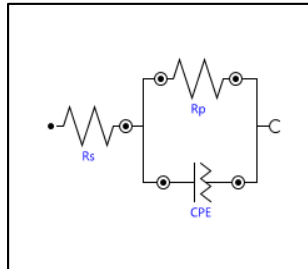
EIS atau electrochemical impedance spectroscopy adalah metode pengukuran untuk mengkarakterisasi suatu sistem elektrokimia. Teknik ini mengukur impedansi dari sistem dalam suatu rentang frekuensi tertentu yang akan direspon oleh sistem. Seringkali, data yang dimunculkan oleh EIS ini berupa plot bode atau Nyquist. Impedansi berkebalikan dengan aliran AC dalam suatu sistem kompleks. Sistem elektronik sistem pasif meliputi elemen energi yang hilang (resistor) dan energi yang tersimpan (kapasitor). Hampir semua sistem fisikimia, seperti sel elektrokimia, penyimpanan dan tahanan energi yang terjadi dalam jaringan biologis dapat dianalisis dengan EIS. Salah satu penggunaan EIS adalah untuk mengetahui sistem yang terbentuk jika suatu inhibitor korosi dimasukkan ke dalam suatu sistem. Jika suatu inhibitor korosi ditambahkan kedalam suatu sistem terkorosi, maka ion ataupun elektron yang dapat menyebabkan teroksidasinya besi akan terhalangi oleh lapisan tipis yang dibentuk oleh inhibitor tersebut. Akibatnya, terdapat suatu bacaan tahanan yang terbaca oleh detektor. Penggambaran dari data tersebut berupa kurva Nyquist Z, seperti digambarkan oleh gambar 2.11



Gambar 2.8 Kurva Nyquist Z

(Sumber : <https://www.wiley.com/en-us/FourierTransformInfraredSpectrometry2ndEdition>)

Dan dari data kurva tersebut, secara sederhana dapat digambarkan menjadi suatu rangkaian elektronik sederhana seperti berikut:



Gambar 2.9 Equivalent Circuit

(Sumber : <https://www.electrical4u.com/equivalent-circuit-of-transformer-referred-to-primary-and-secondary/>)

Dari tahanan yang diberikan oleh EIS dapat disimulasikan dalam suatu rangkaian elektronik pada gambar 2.9 , Rp adalah tahanan yang diberikan oleh larutan atau sistem luar, sedangkan Rs adalah tahanan yang diberikan oleh suatu senyawa dalam suatu sistem.

2.6.3 Weight Loss

Metode ini dilakukan dengan cara merendam spesimen logam ke dalam media korosif. Pengujian korosi ini dilakukan untuk mengetahui laju korosi berdasarkan kehilangan berat material yang terkorosi dalam medium tertentu. Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji, kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan ke dalam rumus untuk mendapatkan kehilangan berat (Supardi, 1997).

Perhitungan laju korosi dilakukan menggunakan metode kehilangan berat sampel tiap satuan luas dan waktu dengan konstanta laju korosi yang dapat dilihat pada tabel 2.7

Tabel 2.7 Konstanta Laju Korosi

NO	Konstanta Laju Korosi	K
1	Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
2	Inches per year (inches/y)	$3,45 \times 10^3$
3	Millimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
4	Micrometers per year ($\mu\text{m/y}$)	$8,76 \times 10^7$
5	Milligrams per square decimeter per day (mmd)	$2,40 \times 10^6 \times D$

(Sumber <https://www.wiley.com/en-us/WeightLoss1stEdition>)

Berikut ini adalah rumus perhitungan dari laju korosi

$$MPY = \frac{K \times W}{\rho \times A \times T} \quad (2.2)$$

Keterangan

W : weight loss (g)

K : konstanta laju korosi

P : massa jenis (g/cm^3)

A : luas (cm^2)

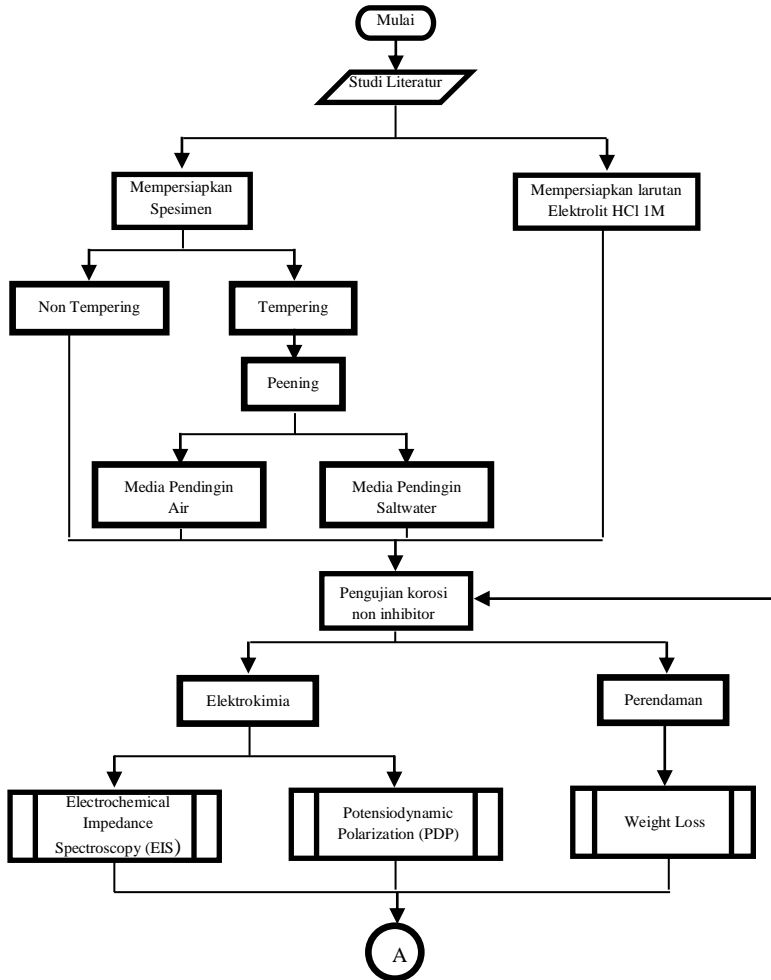
T : waktu perendaman (jam)

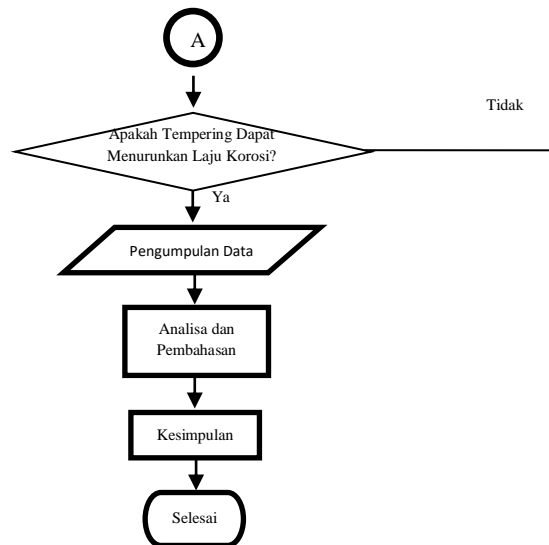
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flowchart, bisa dilihat pada gambar 3.1 atau diagram di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua metode penelitian adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan referensi berdasarkan jurnal, tugas akhir, dan *textbook* yang mempelajari tentang korosi, penggunaan material pada industri kereta api, dan metode pengujian yang menggunakan *Weight Loss*, EIS, dan PDP.

2. Eksperimental

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah Pengujian pengurangan berat (*weight loss*). EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*), dan PDP (*Potensiodynamic Polarisazation*).

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Gelas ukur.
2. Pipet
3. Jangka sorong.
4. Wadah plastik.
5. Timbangan analitik.
6. Solder.
7. Timah.
8. Kabel.
9. Malam.
10. Mesin Corrtest Electrochemical Instrument untuk pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dan PDP (*Potensiodynamic Polarisation*).

3.4 Bahan Penelitian

1. Material
Spesimen yang akan digunakan untuk pengujian *Weight Loss*, EIS, dan PDP pada penelitian ini menggunakan baja SM490 yang telah dipotong dengan dimensi 17x17x10 mm kemudian di hardening pada suhu 900°C dan tempering pada temperatur (400°C, 600°C, dan 800°C).

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja SM490 Setelah Uji OES

Unsur(%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,6	0,16	0,05	0,99	0,013	0,007

2. Larutan Media Korosif
Larutan elektrolit yang digunakan untuk media korosi pada penelitian ini adalah larutan HCL 1M sebanyak 1L

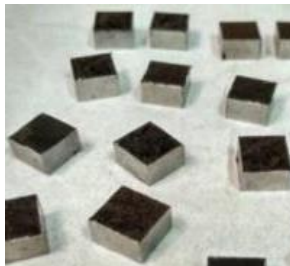
yang dilarutkan dengan Aquades 37ml melalui proses pengenceran.

3.5 Prosedur Penelitian

Terdapat dua jenis prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur (400°C , 600°C , dan 800°C) dan media pendingin (*water* dan *saltwater*) pada material baja SM490 dilakukan pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dan PDP (*Potensiodynamic Polarization*), dan untuk mengetahui laju korosi dilakukan dengan menggunakan metode pengujian *Weight Loss*.

3.5.1 Persiapan Benda Kerja

Material yang akan digunakan pada pengujian ini adalah baja SM490 yang berbentuk plat.



Gambar 3.2 Baja SM490

Lalu dipotong menjadi bagian-bagian kecil dengan dimensi $17 \times 17 \times 10$ mm. Untuk pengujian EIS dan PDP, baja yang telah dipotong dihubungkan dengan kawat tembaga dengan *soldering*. Setelah itu balok baja yang sudah terhubung dengan tembaga dilapisi resin agar hanya bagian permukaan dari benda kerja yang *ter-expose* saat dilakukan pengujian.



Gambar 3.3 Benda Kerja Pengujian EIS dan PDP

Lalu permukaan benda kerja dihaluskan dan dibersihkan dari berbagai produk korosi.



Gambar 3.4 Permukaan Benda Kerja EIS dan PDP

Sedangkan untuk pengujian *weight loss* baja tidak disambungkan dengan kawat tembaga dan tidak dilapisi malam.

a. Tempering

Baja SM490 yang telah dipotong sesuai dengan dimensi 17 x 17 x10 mm kemudian dilakukan *heat treatment* menggunakan furnace yang ada pada Lab.Metallurgi D3 Teknik Mesin Industri ITS, dimana *treatment* yang diberikan yaitu tempering dengan variasi temperatur yaitu 400°C, 600°C dan 800°C dan dengan variasi media pendingin air dan

saktwater namun untuk holding time yang diberikan adalah sama.

b. Peening

Setelah spesimen baja SM490 telah dilakukan tempering maka spesimen diberikan perlakuan *peening* sebanyak 10 kali, dimana pada proses *peening* ini bertujuan agar struktur butiran kristal dari spesimen berubah menjadi lebih kecil dan lebih rapat antar butir kristal semakin rapat sehingga sifat mekaniknya akan berubah menjadi lebih tangguh.

3.5.2 Persiapan Larutan Korosif

Larutan yang digunakan adalah HCl 1M 1liter yang telah dilakukan pengenceran dengan menambahkan aquades. Untuk mendapatkan HCl 1M sebanyak 1liter dibutuhkan HCl 37% 83ml dan dicampurkan dengan aquades hingga mencapai volume larutan 1liter.

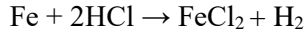


Gambar 3.5 HCl

3.6 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*), PDP (*Potensiodynamic Polarisation*), dan pengurangan berat

(*Weight Loss*) melibatkan baja SM490 dan larutan HCl 1M, akan terjadi korosi dengan reaksi sebagai berikut :



3.6.1 Pengurangan Berat (*Weight Loss*)

Pengujian *weight loss* dilakukan untuk mengetahui laju korosi (mpy) pada baja SM490 berdasarkan pengurangan berat awal dan berat akhir setelah terkorosi.

Prosedur pengujian *weight loss* tanpa penambahan inhibitor pada material adalah sebagai berikut ;

1. Menyiapkan wadah plastik untuk tempat perendaman spesimen.
2. Menyiapkan 14 spesimen SM490 dengan dimensi 17x17x10 mm.
3. Melakukan penimbangan awal pada masing-masing spesimen.
4. Memasukkan larutan elektrolit ke dalam wadah plastik.
5. Merendam baja SM490 ke dalam elektrolit.
6. Seluruh spesimen direndam selama 5 jam kemudian dilakukan penimbangan.
7. Melakukan pengambilan gambar.



Gambar 3.6 Pengujian Weight Loss

3.6.2 *Electrochemical Impedance Spectroscopy*

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) merupakan salah satu metode yang berkembang sangat cepat. Hal ini dikarenakan *Electrochemical impedance spectroscopy* (EIS) merupakan metode analisa yang penting, dimana dapat memberikan informasi berupa ketahanan terhadap korosi, massa transport dan elemen–elemen listrik yang ada. Teknik EIS adalah salah satu teknik non-stationary yang bersifat non destruktif. Interpretasi hasil pengukuran EIS biasanya dilakukan dengan cara menyesuaikan (*fitting*) data impedansi terhadap ekuivalen sirkuit listrik yang merupakan representatif dari proses fisik yang terjadi pada sistem. Kualitas fitting dinilai oleh seberapa baik korelasi antara kurva dengan spektrum asli. Dari hasil penyesuaian (*fitting*) akan dihasilkan ekuivalen sirkuit listrik yang akan menghasilkan satu set parameter yang dapat dikorelasikan dengan kondisi lapisan dan korosi dari substrat baja.

Sebelum dilakukan pengukuran secara elektrokimia, sel elektrokimia dibiarkan selama beberapa waktu agar interaksi antarmuka spesimen dengan larutan mencapai *steady state*. Pengujian ini mengacu pada standard ASTM G 106 – 89.

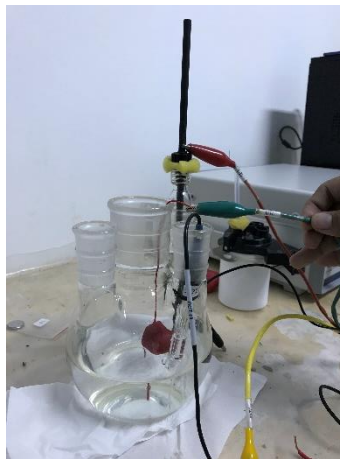
Pengujian elektrokimia Tafel dan EIS memiliki langkah–langkah pengujian yang sama, yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja SM490 dengan *surface* kontak sebesar 17x17 mm dan larutan elektrolit HCl.
2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 1 L.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.

4. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan mesin Corrtest Electrochemical Instrument dan *software* Corrtest V5.



Gambar 3.7 Proses Pengujian EIS dan Polarisasi



Gambar 3.8 Alat Pengujian EIS dan Polarisasi

3.6.3 Potensiodynamic Polarisazation

Polarisasi potensiodinamik adalah metode untuk menentukan perilaku korosi logam berdasarkan

hubungan potensial dan arus anodik atau katodik jika logam berada kontak dengan larutan yang bersifat korosif. Dalam pengujian korosi digunakan potensiodynamik karena dengan ini dapat dilakukan analisis tafel untuk mendapatkan data-data tentang arus korosi (I_{corr}) dan laju korosi ($Corr Rate$). Metode pengujian ini mengacu pada standard ASTM G 5-94 dan perhitungan dari *corr rate* mengacu pada standard ASTM G 102 - 89.

Prosedur pengujian polarisasi potensiodynamik adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen baja SM490 dengan *surface* kontak sebesar 17x17 mm dan larutan elektrolit HCl.
2. Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 500 ml.
3. Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
4. Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan mesin Corrtest Electrochemical Instrument dan *software* Corrtest V5.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Larutan Elektrolit

Metode pengenceran dilakukan untuk mendapatkan volume yang konsentrasinya lebih kecil dari larutan stok yang ada. Caranya adalah dengan menambahkan pelarut ke dalam larutan stok yang ada. Proses pengenceran larutan elektrolit HCl 1M dilakukan pada 25 April 2018 di laboratorium Metallurgi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada prosesnya, larutan yang digunakan adalah HCl 1M sebanyak 1L yang telah dilakukan pengenceran dengan menambahkan aquades. Untuk mendapatkan HCl 1M sebanyak 1L dibutuhkan HCl 37% 83ml dan dicampurkan dengan Aquades hingga mencapai volume larutan 1L seperti gambar 4.1.



Gambar 4.1 Larutan Elektrolit HCl 1M 1 Liter

Perhitungan dalam pembuatan Larutan HCl 1M sejumlah 1L dapat dilihat dibawah ini :

Diketahui : Larutan HCl 37% :
 $\rho = 1,19$
 $BM = 36,46$

Rumus Pengenceran HCl 1M :

$$\begin{aligned} M &= \frac{\rho \times \% \times 10}{BM} \\ &= \frac{1,19 \times 37 \times 10}{36,46} \\ &= 12,0762479 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 12,0762479 \times V_1 &= 1 \times 1000 \\ V_1 &= 82,8071772 \text{ ml} \end{aligned}$$

4.2 Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang sesuai dengan prosedur penelitian pada bab sebelumnya diperoleh sejumlah data yaitu berupa : efisiensi pengaruh temperatur tempering dengan pengujian Polarisasi Potensiodinamik, pengujian *weight loss*, dan pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*),

4.2.1 Hasil Pengujian Polarisasi potensiodinamik

Pengujian polarisasi potensiodinamik bertujuan untuk mengetahui laju korosi yang terjadi pada baja SM490 pada masing-masing variabel temperatur dan media pendingin tempering. Pengujian polarisasi potensiodinamik dilakukan pada 5 Mei 2018 di Laboratorium Korosi, Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Spesimen pada

pengujian ini menggunakan baja SM490 dengan larutan HCl 1M sebanyak 1L.

Pengujian polarisasi potensiodinamik ini menggunakan mesin Corrtest Electrochemical Instrument dan diolah dengan *software* Corrtest V5 yang menampilkan grafik nilai arus untuk setiap perubahan potensial, kemudian dinyatakan dalam bentuk kurva E/Log i. Beberapa parameter yang diinputkan pada *software* tersebut ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Pengujian Polarisasi Potensiodinamik pada Baja SM 490

Elektoda Kerja	SM 490 (Solid)
Equivalent Weight (g)	27,989
Densitas (g/ml)	7,85
Luasan Terekspos (cm ²)	2.89
Counter Elektrode	Platina
Reference Elektrode	AgCl
Scan Rate (mV/s)	10

Dari tabel diatas, parameter tersebut merupakan sifat dari material yang akan diuji dan diinputkan pada *software* Corrtest V5. Equivalent weight yang digunakan berdasarkan standart yaitu dengan nilai 27,989 (g/mol). Sedangkan densitas baja SM490 yaitu 7,85 g/cm³ maka data tersebut yang dimasukkan ke dalam parameter. Luasan material yang terekspos yaitu 2.89 cm². Didalam pengujian polarisasi, alat ini menggunakan elektroda counter yaitu pt (platina) dan menggunakan elektroda reference yaitu Ag/AgCl. Scan rate yang digunakan dalam pengujian ini yaitu 10

mV/s serta menggunakan start potensial -0,100 V dan finish potensial sebesar +0,100 V yang sesuai dengan standart pengujian polarisasi potensiodinamik.

Pada pengujian polarisasi potensiodinamik didapatkan hasil pengujian dengan 6 variabel temperatur tempering serta 1 variabel untuk mengukur hasil non tempering.

Dari pengujian polarisasi dapat diketahui laju korosi dari *test piece* yang digunakan. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada enam *sample* dengan variasi temperatur tempering 400°C, 600°C, 800°C dengan media pendingin air dan *saltwater* menggunakan mesin Corrtest Electrochemical Instrument dan diolah dengan *software* Corrtest V5 didapatkan data yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

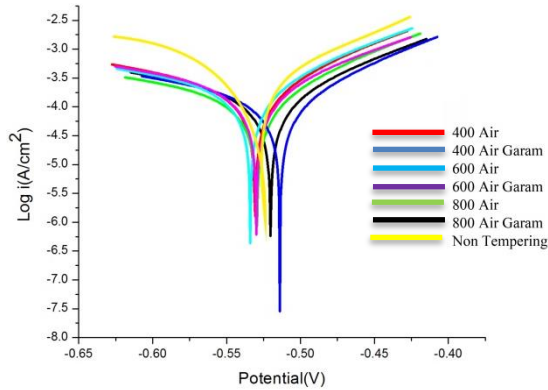
Tabel 4.2 Tabel Kurva Tafel (Potentiodynamic Testing)

<u>Pengujian Polarisasi Potensiodinamik</u>							
Material : Baja SM490							
Media Larutan Elektrolit : HCl 1M							
Temperature (°C)	Media	$\beta_a(mV)$	$\beta_b(mV)$	$E_{corr}(V)$	$i_{corr}(A/cm^2)$	CR(mmpy)	IE (%)
Non Tempering	Udara	220.87	146.55	-0.43267	0.00018419	25.45	-
400	Air	124.45	325.47	-0.52028	0.00022289	2.6148	43.3465
	Saltwater	144.45	392.86	-0.52987	0.00032904	3.8600	3.5723
600	Air	111.28	347.65	-0.52956	0.00019805	2.3234	66.3499
	Saltwater	121.13	410.51	-0.53394	0.00030640	3.5945	7.5248
800	Air	108.67	295.68	-0.51386	0.00017761	2.0836	78.6416
	Saltwater	111.55	286.25	-0.53065	0.00026403	3.0974	21.0109

Pada tabel 4.2 tersebut didapatkan hasil pengujian polarisasi potensiodinamik pada 3 variasi temperatur tempering dengan berbagai parameter yang didapat dari hasil pengujian polarisasi, yaitu β_a , β_b , E_{corr} , i_{corr} dan laju korosi. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur tempering maka akan menurunkan laju korosi sampel baja SM490 dan juga

akan menurunkan nilai I_{corr} juga. Harga laju korosi tertinggi berada pada larutan HCl 1M non tempering sebesar 25.45 mm/year. Harga laju korosi terus mengalami penurunan sampai laju korosi terendah pada *sample* dengan temperatur 800°C media pendingin air sebesar 2.0836 mm/year dengan efisiensi sebesar 78.6416%. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur tempering maka fraksi fasa lunak dan ulet akan bertambah apalagi jika menggunakan media pendingin air sehingga mampu menurunkan laju korosi. Namun pada pengujian dengan *sample* dengan temperatur 400°C media pendingin *saltwater* laju korosi mengalami kenaikan yaitu sebesar 3.8600 mm/year dengan nilai efisiensi sebesar 3.5723%. Hal itu menyebabkan tren laju korosi menjadi turun dan hal tersebut merupakan titik kritis polarisasi yang mengalami titik jenuh sehingga laju korosi akan naik jika temperatur tempering semakin diturunkan karena masih terdapat banyak tegangan sisa.

Dari *software* Corrttest V5 didapatkan data yang dapat dilihat pada gambar 4.2. *Sample* temperatur 400°C media pendingin *saltwater* pada grafik yang berwarna biru terletak paling rendah menunjukkan memiliki laju korosi paling tinggi. Sedangkan *Sample* dengan temperatur 800°C media pendingin air pada grafik yang berwarna ungu terletak paling tinggi menunjukkan memiliki laju korosi paling rendah.



Gambar 4.2 Hasil Pengujian Polarisasi

Pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa dengan menurunnya temperatur tempering, maka akan menggeser kurva tafel kearah bawah dan kearah kanan. Bergesernya kurva tafel dengan menaikkan temperatur tempering kearah bawah menunjukkan menurunnya nilai I_{corr} sehingga laju korosi menurun. Bergesernya kurva tafel kearah kanan setelah diturunkan temperatur tempering potensial menjadi naik dan menunjukkan reaksi elektrokimia yang terjadi antara larutan HCl 1M dengan sampel uji menjadi lebih dominan anodik.

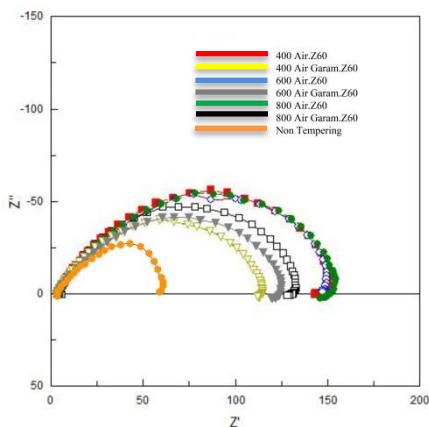
4.2.2 Hasil Pengujian EIS

Pada pengujian EIS dilakukan untuk mengetahui pengaruh mekanisme tempering yang terjadi pada baja SM490 dengan variasi temperatur tempering antara lain 400°C, 600°C, 800°C dan variasi media pendingin yaitu air dan *saltwater* dengan campuran media korosif larutan HCl 1M. Pengujian EIS (*Electrochemical Impedance Spectroscopy*) dilakukan di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS

Pada pengujian EIS ini menggunakan alat yang sama seperti pengujian polarisasi potensiodinamik yaitu menggunakan alat uji Corrtest Electrochemical Instrument dengan menggunakan software Corrtest V5. Pada pengujian ini menggunakan 3 rangkaian elektroda diantaranya yaitu WE (*Working Electrode*) atau spesimen kerja, CE (*Counter Electrode*) atau elektroda bantu dan RE (*Reference Electrode*) atau elektroda referensi. Spesimen yang digunakan untuk pengujian ini berukuran 17mm x 17 mm dengan tebal 10 mm yang disambung kabel dan dilapisi malam.

Hasil dari pengujian EIS adalah dalam bentuk kurva Nyquist. Setelah didapatkan kurva Nyquist, kemudian dilakukan proses *fitting* untuk menghasilkan *equivalent circuit*, pada software Corrtest V5. Kemudian dihasilkan parameter-parameter elektrokimia berupa R (Resistor), C (Capasitor), dan CPE (*Constant Phase Element*) seperti dilihat pada gambar 4.4.

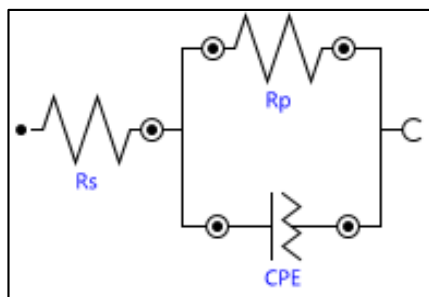
Pengujian dari *Electrochemical Impedance Spectroscopy* atau EIS menghasilkan gambar grafik sebagai ditunjukkan gambar 4.3 berikut



Gambar 4.3 Grafik Nyquist Tiap Sample

Pengujian yang menghasilkan grafik Nyquist ini dapat digunakan untuk menentukan parameter yang memiliki keterkaitan dengan tahanan polarisasi, tahanan larutan, dan kapasitansi lapis rangkap listrik. Pada grafik dapat dilihat bahwa pada *sample* dengan temperatur 800°C media pendingin *saltwater* (terlihat pada lengkungan berwarna kuning paling bawah) memiliki nilai impedansi yang kecil antara permukaan baja dengan larutannya, sedangkan pada *sample* dengan temperatur 400°C media pendingin air (terlihat pada lengkungan berwarna hijau paling atas) memiliki nilai impedansi yang besar antara permukaan baja dengan larutannya. Pada kondisi ini nilai impedansi antar permukaan baja dengan larutan merupakan impedansi kapasitif yang berarti proses korosi dikontrol oleh proses *charge transfer* (perpindahan muatan)

Mekanisme pengaruh *peening* terhadap baja SM490 dengan variabel temperatur 400°C, 600°C, 800°C dengan media pendingin air dan *saltwater* dapat dilihat dari nilai impedansi yang dihasilkan grafik nyquist dari *software* Corrtest V5. Dengan menggunakan rangkaian listrik yang disebut *equivalent circuit* maka dapat terbaca nilai impedansi atau tahananannya. Sirkuit yang digunakan dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Equivalent Circuit

Sedangkan pada gambar 4.4, merupakan rangkaian sirkuit pengujian EIS, dimana tahanan larutan (R_s) merupakan suatu tahanan yang terjadi pada larutan sebelum dilakukan *running* pengujian EIS. Selain itu, setelah tahanan larutan (R_s) kemudian ada tahanan polarisasi (R_p) dan CPE yang posisinya satu baris, hal itu merupakan hasil dari proses pengujian EIS setelah di lakukan *running*.

Dari pengujian EIS pada material baja SM490 dengan berbagai variasi temperatur tempering pada media larutan HCl 1M, maka didapatkan beberapa parameter-parameter hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil Equivalent Circuit Nilai Impedansi

Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy					
Material : Baja SM490					
Media Larutan Elektrolit : HCl 1M					
Temperature (°C)	Media	R_s (Ω)	R_p (Ω)	CPE (μF)	IE (%)
Non Tempering	Udara	1.527	14.5	1.95557	-
400	Air	3.777	149.1	0.73643	90.27498
	Saltwater	3.603	111.1	0.75838	86.94869
600	Air	3.899	151.7	0.70129	90.44166
	Saltwater	3.54	125	0.68552	88.4
800	Air	4.091	153.1	0.71502	90.52906
	Saltwater	4.257	130.7	0.75085	88.90589

Dari tabel 4.3 didapatkan hasil pengujian EIS pada 3 variasi temperatur tempering dengan berbagai parameter yang didapat dari pengujian EIS, diantaranya yaitu CPE, tahanan polarisasi (R_p) dan tahanan larutan (R_s). Dari hasil pengujian didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur tempering maka akan membuat harga R_p semakin besar sehingga membuat laju korosi semakin kecil dan membuat efisiensi tempering semakin tinggi. Harga R_p terendah terdapat pada larutan HCl 1M non tempering yaitu sebesar 14.5 Ω .

Harga Rp terus mengalami kenaikan dari *sample* temperatur tempering 400⁰C media pendingin *saltwater* hingga temperatur tempering 800⁰C media pendingin air yaitu sebesar 111.1 Ω naik hingga 153.1 Ω . Dari hasil tersebut menandakan bahwa temperatur tempering yang tinggi dan media pendingin air sangat efektif dalam memproteksi permukaan logam yang dapat dilihat dari nilai efisiensi tertinggi pada temperatur tempering 800⁰C media pendingin air dengan efisiensi 90.52906%.

4.2.3 Hasil Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* ini bertujuan agar dapat mengetahui efisiensi temperatur tempering pada lingkungan HCl 1M. Pengujian *weight loss* dilakukan di Laboratorium Metallurgy, Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Spesimen baja SM490 yang digunakan untuk pengujian *weight loss* berukuran 17mm x 17mm dengan ketebalan 10 mm. Sampel yang digunakan pada pengujian ini sebanyak 14 sampel dan sampel harus terendam seluruhnya didalam media larutan korosif agar mendapatkan hasil yang maksimal dalam mencari laju korosinya.

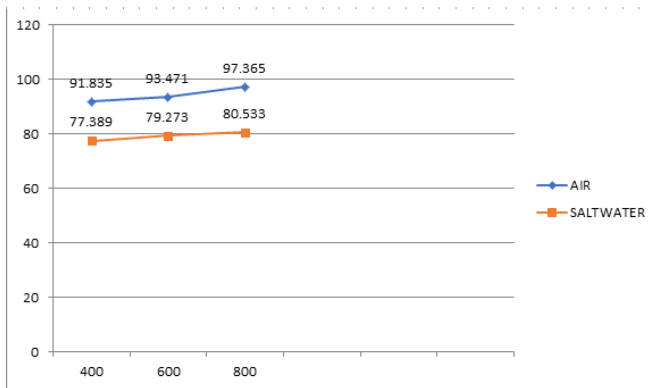
Pada pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan selama selang waktu 5 jam dengan iterasi pengulangan 2 kali agar mendapatkan hasil data yang maksimal. Pada data gambar pengujian *weight loss* dibawah ini dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 1M. Hasil dari pengujian *weight loss* dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut

Tabel 4.4 Efisiensi Weight Loss

Pengujian Weight Loss								
Material : Baja SM490								
Media Larutan Elektrolit : HCl 1M								
Waktu	Temperature (°C)	Media	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	Rata-Rata	Corr Rate	IE (%)
168 Jam	Non Tempering	Udara	25.2581	25.1943	0.0638	0.0796	0.14122	-
			24.0758	24.9803	0.0955			
	400	Air	25.9591	25.9552	0.0039	0.0065	0.01153	91.835
			25.7951	25.7859	0.0092			
		Saltwater	25.9229	25.8660	0.0569	0.0180	0.03193	77.389
			24.8590	24.8191	0.0399			
	600	Air	35.6275	35.6225	0.005	0.0052	0.00922	93.471
			36.9171	36.9117	0.0054			
		Saltwater	30.0367	30.0271	0.0096	0.0165	0.02927	79.273
			30.2589	30.2355	0.0234			
	800	Air	25.9103	25.8876	0.0227	0.0210	0.00372	97.365
			25.4584	25.4390	0.0194			
		Saltwater	30.4654	30.4638	0.0016	0.0155	0.02749	80.533
			30.4811	30.4796	0.0015			

Pada table 4.4 diatas, didapatkan nilai laju korosi dari spesimen baja SM490 dengan beberapa perbedaan temperatur tempering. Pengaruh temperatur tempering terhadap laju korosi terlihat, bahwa semakin tinggi temperatur tempering spesimen akan berpengaruh pada laju korosi yang terjadi pada spesimen tersebut.

Pada pengujian *weight loss* laju korosi terendah adalah 0.0372 mm/year dan efisiensi tertinggi sebesar 97.365% pada variabel *sample* temperature tempering 800°C media pendingin air. Sedangkan rata-rata laju korosi pengujian *weight loss* tertinggi pada *sample* dengan temperatur tempering 400°C media pendingin *saltwater* dengan nilai laju korosi sebesar 0.03193 mm/year dan efisiensi sebesar 77.389%.. Dapat disimpulkan bahwa laju korosi pada pengujian *weight loss* dengan menggunakan media pendingin air dapat menurunkan laju korosi jika dibandingkan dengan menggunakan *saltwater* dan temperatur tempering tertinggi memiliki rata-rata nilai laju korosi terendah. Tren dari efisiensi pengujian *weight loss* dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Laju Korosi Weight Loss

4.3 Pembahasan

Dari hasil pengujian Polarisasi Potensiodinamik (tafel) yang dilakukan pada 1 sampel uji yaitu berupa *sample* non tempering, dan 6 variabel *sample* tempering didapatkan bahwa terdapat penurunan laju korosi dan peningkatan efisiensi yang cukup signifikan meningkatnya dengan meningkatkan temperatur tempering. Efisiensi tertinggi yang didapat dari 6 variabel *sample* tempering terdapat pada *sample* temperatur tempering 800°C dengan media pendingin air dengan nilai efisiensi mencapai 78.6416%. Dari grafik kurva polarisasi potensiodinamik (tafel), dengan adanya peningkatan temperatur tempering menggeser kurva kebawah yang mengindikasikan adanya penurunan nilai I_{corr} . Sehingga dapat diketahui bahwa temperatur tempereing bekerja untuk mengurangi laju korosi pada baja SM490.

Dari hasil pengujian EIS, didapatkan kesimpulan bahwa dengan adanya peningkatan temperatur tempering dapat meningkatkan nilai tahanan polarisasi (R_p) dan membuat efisiensi menjadi tinggi. Tahanan tersebut mewakili adanya perpindahan muatan pada antar muka antara logam dengan larutan. Dengan peningkatan nilai tahanan, menunjukkan adanya lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam, hal ini berkaitan dengan

perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin kecil dan laju korosi akan semakin rendah. Begitu juga bila semakin lambat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin besar dan laju korosinya tinggi. Sehingga, tahanan polarisasi yang semakin kecil dikarenakan oleh rendahnya temperatur tempering yang rendah belum bekerja dengan baik untuk menurunkan laju korosi pada spesimen baja SM490 sehingga belum terjadi pembentukan lapisan pasif pada permukaan baja.

Untuk mengetahui efisiensi temperatur tempering, maka dilakukan pengujian *weight loss* berdasarkan pengurangan berat awal dan akhir. Dari hasil pengujian *weight loss*, didapatkan kesimpulan bahwa meningkatnya temperatur tempering dapat menurunkan laju korosi secara signifikan pada baja SM490 dengan media larutan HCl 1M. Dari hasil pengujian didapatkan rata-rata tertinggi laju korosi spesimen baja SM490 terdapat pada *sample* temperatur tempering 400°C dengan media pendingin *saltwater* dimana laju korosinya mencapai 0.03193 mm/year. Sedangkan rata-rata laju korosi terendah pada spesimen baja SM490 dengan terdapat pada *sample* temperatur tempering 800°C dengan media pendingin air 0.00372 mm/year. Dari hasil tersebut dapat dihitung bahwa efisiensi tertinggi pada *sample* temperatur tempering 800°C dengan media pendingin air dengan efisiensi mencapai 97.365 %.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian untuk mendapat nilai dari laju korosi dan efisiensi temperatur tempering yang telah dilakukan terhadap baja SM490 dalam media HCl 1M dengan tiga variabel temperatur dan dua variabel media pendingin yang berbeda, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam mekanisme pengkorosian non inhibitor dimana spesimen diberikan perlakuan tempering dengan suhu tertentu dihasilkan laju korosi yang lebih rendah dibanding dengan yang non tempering karena pada sample yang diberi perlakuan tempering ada peningkatan nilai tahanan, yang mana menunjukkan adanya lapisan pasif yang terbentuk di permukaan logam, hal ini berkaitan dengan perpindahan elektron, semakin cepat elektron berpindah maka tahanan yang terbentuk akan semakin kecil dan laju korosi akan semakin rendah.
2. Untuk hasil tiap pengujian sebagai berikut :
 - a. Pada pengujian PDP, dengan menggunakan media pendingin *saltwater* didapatkan efisiensi tertinggi pada temperatur tempering 800°C sebesar 21.0109% dengan laju korosi 3.0974 mm/year, sedangkan jika menggunakan pendingin air maka dihasilkan efisiensi yang lebih tinggi pada temperatur tempering 800°C sebesar 78.6416% dengan laju korosi yang lebih rendah yaitu sebesar 2.0836 mm/year.
 - b. Pada pengujian EIS, dengan menggunakan media pendingin *saltwater* didapatkan tahanan yang paling besar pada *sample* dengan temperatur tempering 800°C sebesar 130.7 Ω dengan efisiensi sebesar 88.90589%, sedangkan jika menggunakan pendingin air maka dihasilkan tahanan yang paling besar pada temperatur

tempering 800⁰C sebesar 153.1 Ω dengan efisiensi yang lebih tinggi yaitu sebesar 90.52906%.

- c. Pada pengujian *weight loss*, dengan menggunakan media pendingin *saltwater* didapatkan efisiensi tertinggi pada temperatur tempering 800⁰C sebesar 80.533% sedangkan jika menggunakan pendingin air maka dihasilkan efisiensi yang lebih tinggi pada temperatur tempering 800⁰C sebesar 97.365%. dengan selang waktu perendaman kedalam media larutan elektrolit selama 5 jam.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut dengan berbagai variasi temperatur untuk mendapat efisiensi yang lebih efektif dan dapat sesuai seperti pengaplikasian pada industri kereta api.
2. Perlu adanya pengujian dengan metode lain seperti SEM untuk melihat topografi pada permukaan benda kerja.

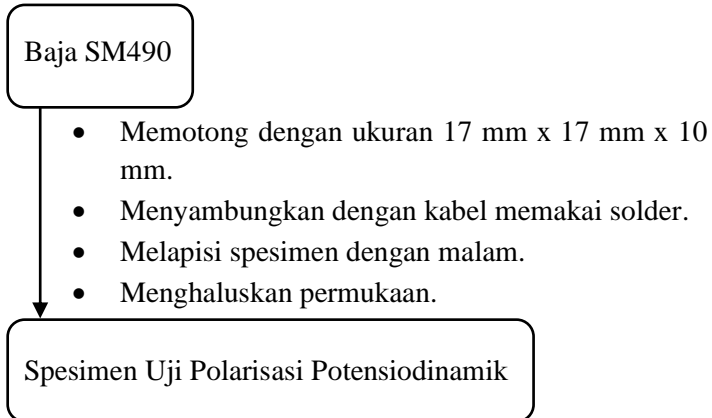
DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International Standard E-18, Standart Test Method for Rockwell Hardness Supercifal Hardness of Metallic Material.
- ASTM International Standard E-23, Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
- Fadli. 2011. “*Studi Laju Korosi Baja API 5L GRB N di Dalam Larutan Asam Sulfat 1 M dengan Penambahan Inhibitor Aniline-4-Sulfonate*”. FMIPA UI.
- Fatih, Muhammad Abduh. 2017. “Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Yang Diikuti Proses Peening dan Dichelup pada Campuran Air dan Garam Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Baja SM490 Yang Digunakan Pada Underframe Kereta Api”. FV Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Nuridin, Isdiriyani dan Syahri, M., 1998. “*Inhibisi Korosi Baja Karbon di dalam Larutan Karbonat Bikarbonat*”. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik ITB; Bandung.
- Putrandi, Fransiskus Tommi. 2017. “Pemanfaatan Ekstrak Daun Pepaya (*Carica Papaya*) Sebagai Inhibitor Organik Pada Baja Api 5 L Grade B Dalam Media HCl 1 M”. FV Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Roberge, Piere R. 2000. *Handbook of Corrosion Engineering*. McGraw-Hill:New York. Hal 734
- Salsabila, Akmal Ghifari. 2017. “Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Yang Diikuti Proses Peening Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja SM490 Yang Digunakan Pada Underframe Kereta Api”. FV Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Supardi, R. 1997. *Korosi Edisi Pertama*. Tarsito: Bandung. P. 56-58.
- Jones, Denny A. 1992. “*Principles and Prevention of Corrosion*”. New York; Macmillan Publishing Company, New york.

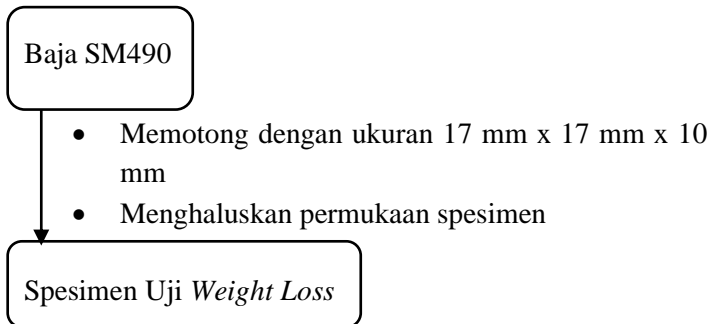
LAMPIRAN A

Skema Kerja

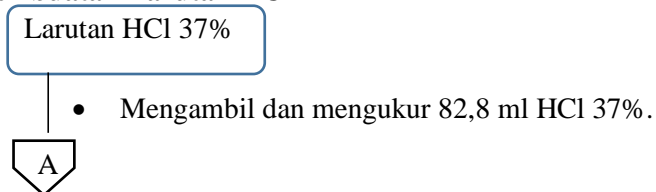
1. Pembuatan Spesimen Uji Polarisasi Potensiodinamik

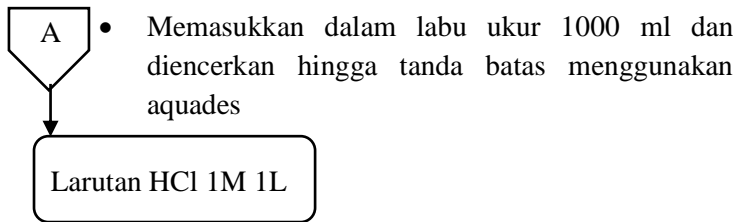


2. Pembuatan Spesimen Uji *Weight Loss*

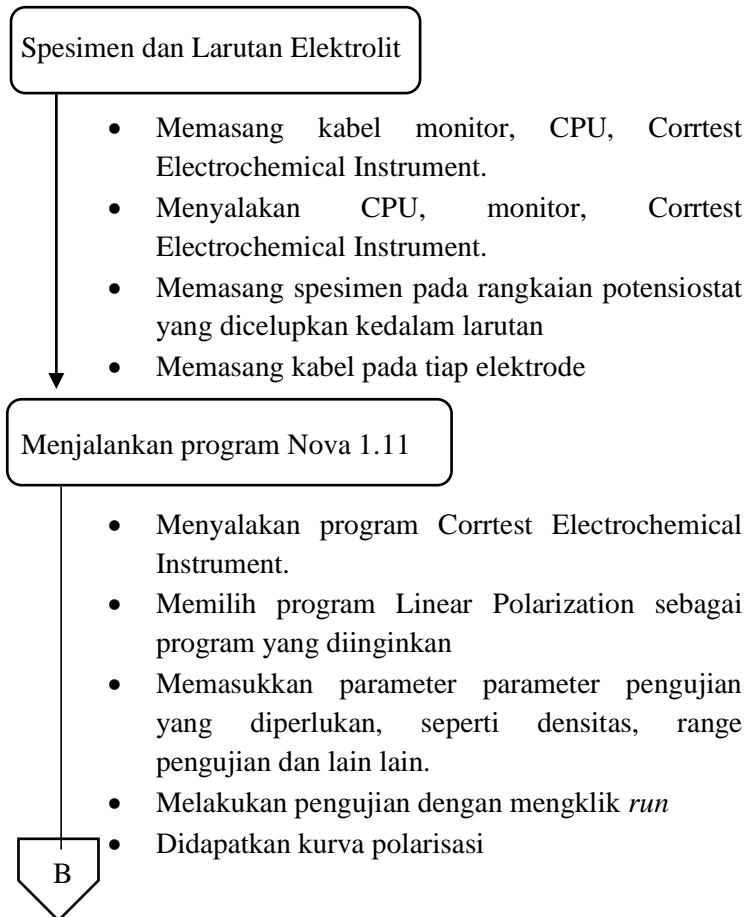


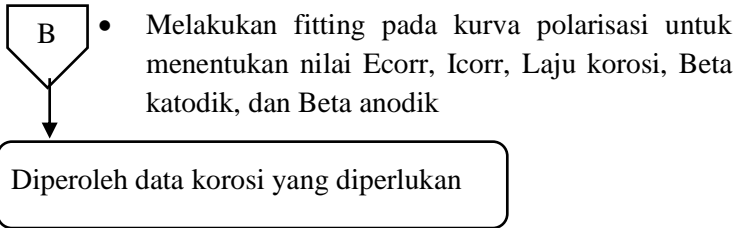
3. Pembuatan Larutan HCl 1 M



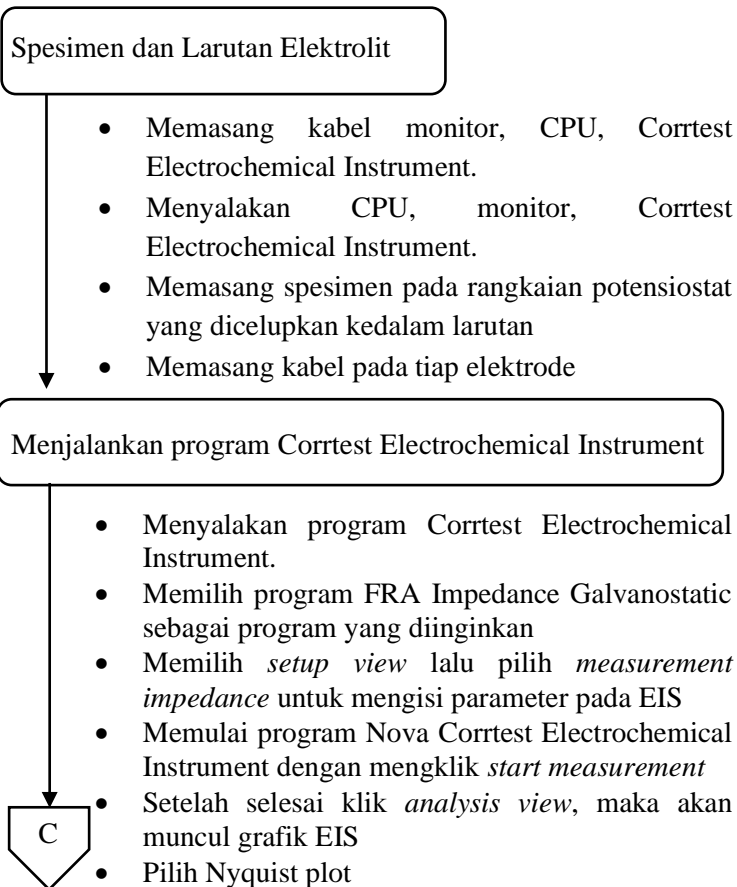


4. Prosedur Uji Polarisasi Potensiodinamik





5. Prosedur Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)



C

- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Electrochemical Circle Fit*
- Fitting di tiga titik tertentu, sehingga muncul kurva fitting. Klik kanan *Electrochemical Circle Fit*, Klik *Copy As Equivalent Circuit*.
- Klik kanan FRA Measurement Galvanostatis, klik *add analysis*, lalu klik *Fit and Simulation*, Klik edit, pada *blank page* klik kanan *Paste* maka akan didapatkan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Electrochemical Circle Fit*
- Klik *Fit and Simulation*, lalu klik edit, dan masukkan parameter parameter elektrokimia secara manual, lalu klik *Ok*. Sehingga didapat kan ekuivalen sirkuit dan parameter elektrokimia dari analisis *Fit and Simulation*.

Equivalent circuit dan Parameter elektrokimia

LAMPIRAN B

1. Contoh Perhitungan Corrosion Rate Pada Weight Loss

Waktu	Temperature (°C)	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	Rata-Rata	Corr Rate
168 Jam	400	25.3541	23.2287	2.1254	1.7275	16.7759
		25.2273	23.8977	1.3296		

$$CR = \frac{K \times W}{\rho \times A \times T}$$

$$K = 87600$$

$$W = 0,0165$$

$$\rho = 7,85 \text{ g/cm}^3$$

$$A = (17 \times 17 + 17 \times 10 + 17 \times 10) 2 = 1258 \text{ mm}^2$$

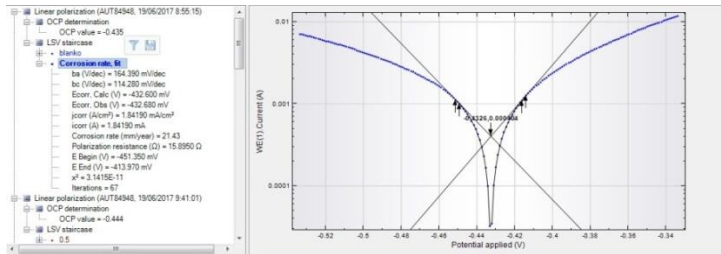
$$T = 168 \text{ jam}$$

$$CR = \frac{87600 \times 1,7275}{7,85 \times 1258 \times 168}$$

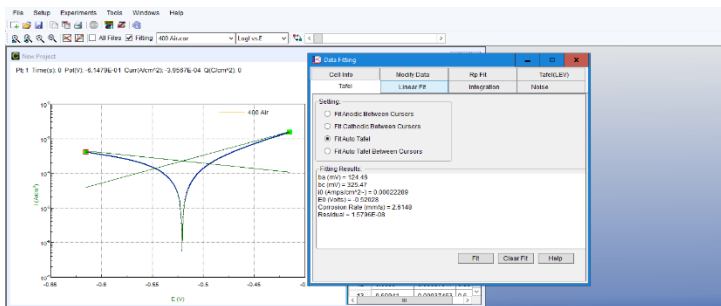
$$= 16,7759$$

LAMPIRAN C

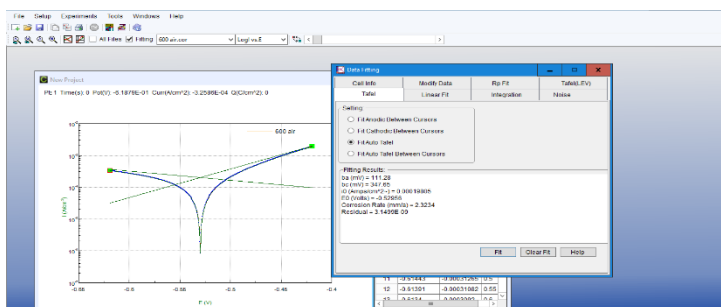
1. Hasil Pengujian Polarisasi



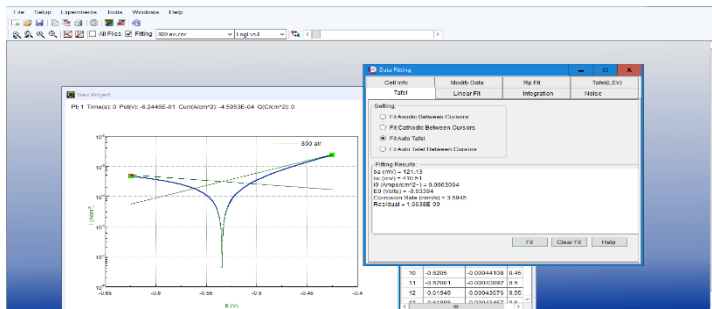
Gambar 1. Hasil Pengujian Polarisasi Non Tempering



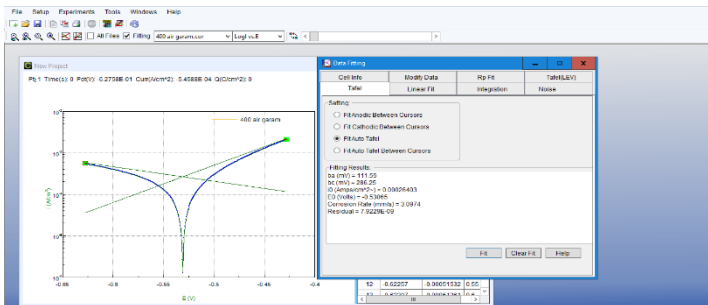
Gambar 2. Hasil Pengujian Polarisasi Temperatur Tempering 400°C Media Pendingin Air



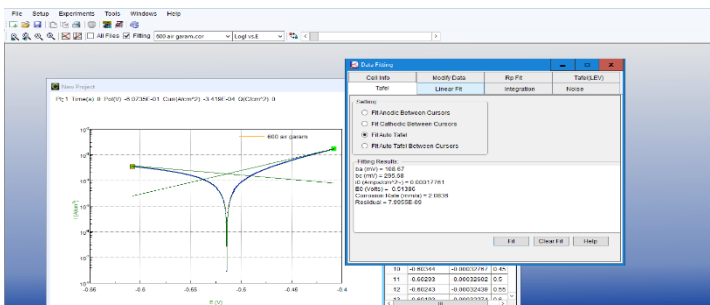
Gambar 3. Hasil Pengujian Polarisasi Temperatur Tempering 600°C Media Pendingin Air



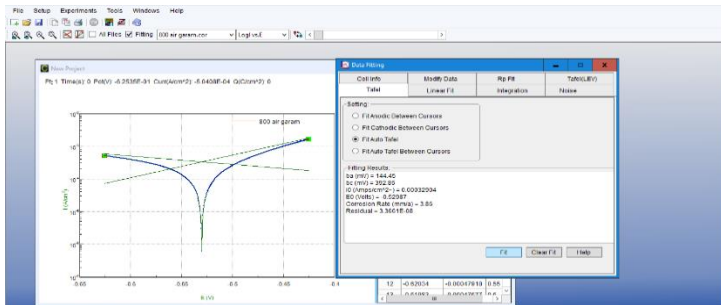
Gambar 4. Hasil Pengujian Polarisasi Temperatur Tempering 800°C Media Pendingin Air



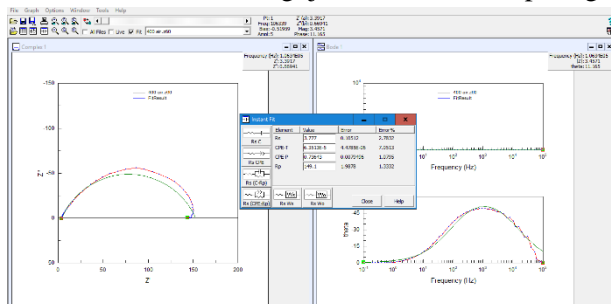
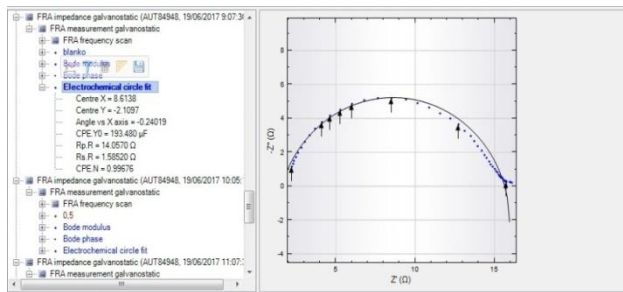
Gambar 5. Hasil Pengujian Polarisasi Temperatur Tempering 400°C Media Pendingin Saltwater

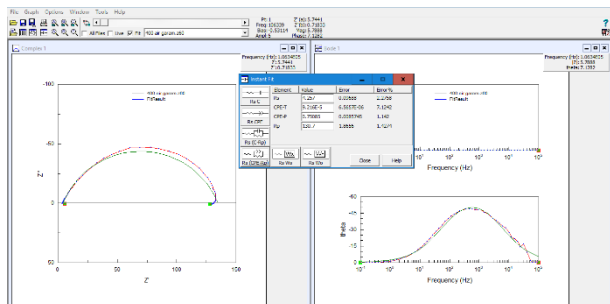
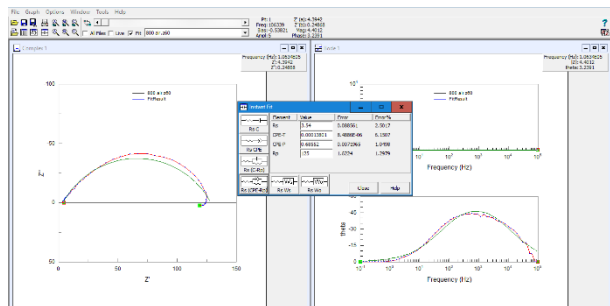
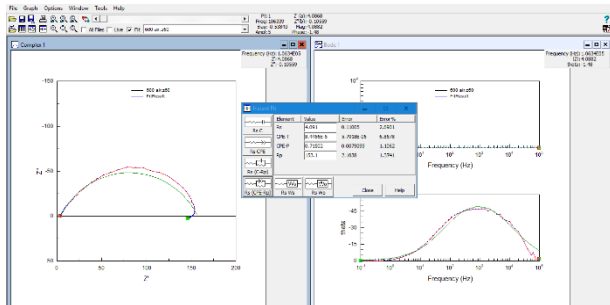


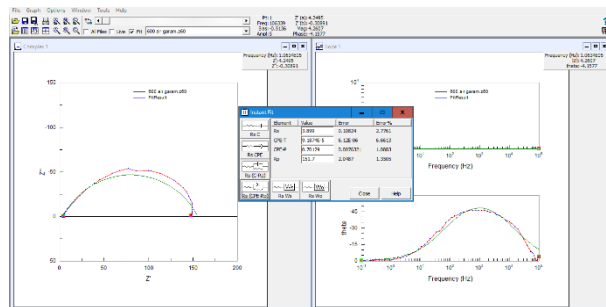
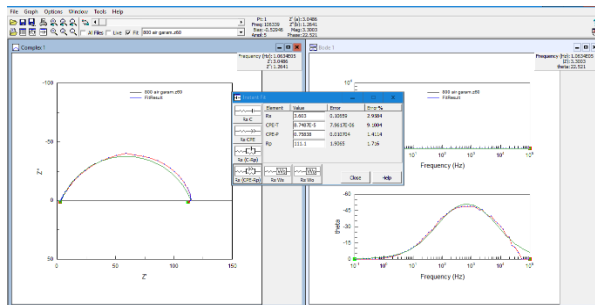
Gambar 6. Hasil Pengujian Polarisasi Temperatur Tempering 600°C Media Pendingin Saltwater



2. Hasil Pengujian Electrochemical Impedance Spectroscopy







3. Hasil Pengujian Weight Loss

Tabel 1. Hasil Weight Loss

Pengujian Weight Loss								
Material : Baja SM490								
Media Larutan Elektrolit : HCl 1M								
Waktu	Temperature (°C)	Media	Berat Awal	Berat Akhir	Selisih	Rata-Rata	Corr Rate	IE (%)
168 Jam	Non Tempering	Udara	25.2581	25.1943	0.0638	0.0796	0.14122	-
			24.0758	24.9803	0.0955			
	400	Air	25.9591	25.9552	0.0039	0.0065	0.01153	91.835
			25.7951	25.7859	0.0092			
		Saltwater	25.9229	25.8660	0.0569	0.0180	0.03193	77.389
			24.8590	24.8191	0.0399			
	600	Air	35.6275	35.6225	0.005	0.0052	0.00922	93.471
			36.9171	36.9117	0.0054			
		Saltwater	30.0367	30.0271	0.0096	0.0165	0.02927	79.273
			30.2589	30.2355	0.0234			
	800	Air	25.9103	25.8876	0.0227	0.0210	0.00372	97.365
			25.4584	25.4390	0.0194			
		Saltwater	30.4654	30.4638	0.0016	0.0155	0.02749	80.533
			30.4811	30.4796	0.0015			

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara yang lahir pada tanggal 5 Juni 1997 di Lamongan, Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Babat 1, SMPN 1 Babat dan SMAN Model Terpadu Bojonegoro. Setelah itu pada tahun 2015 penulis meneruskan pendidikan pada tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif menjadi anggota Nogogeni ITS Team Divisi *Design and Body Manufacturing*, selain itu juga sebagai Koor Grader Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Perautan. Penulis juga mengikuti pelatihan yang diadakan HMDM antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI), Pelatihan Jurnalistik Tingkat Dasar (PJTD), Pelatihan LKMM TD, Pelatihan Motor Bakar (PMB). Selain itu, penulis juga mengikuti pelatihan di fakultas yaitu Pelatihan LKMM Pra-TD. Dan penulis juga pernah mengikuti kepanitiaan himpunan yaitu Panitia OC Sie Pubdok PMB 2015. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: enb0506@gmail.com